



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND
BIOMECHANICS

NÁVRH REGULACE TAHU KOMÍNA

DESIGN OF CHIMNEY EFFECT CONTROL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MAREK TOMAN

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. RADEK VLACH, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Marek Toman

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Mechatronika (3906R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh regulace tahu komína

v anglickém jazyce:

Design of Chimney Effect Control

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem je navrhnout regulaci klapky v komíně zajišťující optimální spalování v krbových kamnech.

Cíle bakalářské práce:

literární průzkum

matematický model tahu komína

návrh řízení natáčení klapky uzávěru

Realizace řídicí jednotky ovládaní klapky

realizace měření

Seznam odborné literatury:

- [1] Idelchik I.E. : Handbook of Hydraulic Resistance, 3rd Edition, 1994, ISBN 1-56700-074-6
- [2] Noskievič P. : Modelování a identifikace systémů, Ostrava 1999

www.umt.fme.vutbr.cz/~rvlach/index.htm

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Radek Vlach, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 19.11.2012

L.S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se zabývá řešením problematiky nadměrného tahu komína. V úvodní části práce jsou shrnuty možnosti regulace tahu komína. Následně je sestaven matematický model tahu komína, který názorně popisuje chování komína jako dynamické soustavy. Poté je popsána výroba jednoduché řídicí jednotky určené k regulaci tahu komína. Hlavním cílem práce je návrh a výroba řídicí elektroniky založené na mikrokontroléru dsPIC.

Klíčová slova

Tah komína, teplotní čidlo, displej, regulace, servomotor

Abstract

This paper talks about problematics of excessive chimney draft. In the first part of the thesis the possibilities of chimney draft adjustability are summarized. Subsequently, a mathematical model, which describes the behavior of the chimney as a dynamic system, is built. Then a simple production control unit development is described. This control unit is designed to control the chimney draft. The main goal of this work is to design and manufacture electronic control based on the dsPIC microcontroller.

Keywords

Chimney effect, temperature sensor, display device, control, servo-engine

Bibliografická citace

TOMAN, M. *Návrh regulace tahu komína*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 42 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Radek Vlach, Ph.D..

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma „Návrh regulace tahu komína“ vypracoval samostatně, s použitím uvedených zdrojů odborné literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce.

24. května 2013

.....
Toman Marek

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Radku Vlachovi za veškeré cenné připomínky a rady při tvorbě této práce.

Obsah

1	Úvod	9
2	Cíle práce.....	10
3	Rešeršní studie	11
3.1	Tah komína	11
3.1.1	Zařízení pro regulaci tahu komína	11
3.1.2	Zařízení pro regulaci hoření	13
3.2	Tepelné procesy	14
3.2.1	Přenos tepla vedením.....	14
3.2.2	Analogie elektrických obvodů a přenosu tepla.....	15
3.2.3	Vedení tepla tělesy atypických tvarů	16
3.3	Přenos tepla konvekcí	16
3.4	Základní vztahy Hydromechaniky	17
4	Matematický model tahu komína.....	19
4.1	Odvození rovnic pro sestavení matematického modelu tahu komína	20
4.1.1	Odvození rovnic objemových průtoků	22
4.2	Doplnění modelu o regulátor tahu	25
4.3	Simulace tahu komína	26
5	Návrh řízení natáčení klapky regulátoru	28
6	Realizace řídicí jednotky regulační klapky bez použití mikrokontroléru	29
7	Realizace řídicí jednotky regulační klapky s použitím mikrokontroléru	31
7.1	Úvod a shrnutí požadavků na řídicí jednotku	31
7.2	Volba vhodného mikrokontroleru.....	31
7.3	Návrh desky plošného spoje	32
7.3.1	Podrobnější popis jednotlivých periférií:.....	33
7.3.2	Volba teplotních čidel.....	34
7.4	Cíl regulace	35
7.5	Popis programu pro mikrokontroler	35
7.5.1	Popis nejdůležitějších konfiguračních bloků	36
7.6	Funkce a ovládání řídicí jednotky	36
8	Závěr	38
9	Seznam použitých zdrojů.....	39
10	Seznam použitých zkratk a symbolů	40
11	Seznam příloh.....	42

1 Úvod

V případě, že navrhujeme nebo vyrábíme jakékoliv zařízení, činíme tak na základě určitých požadavků, které má dané zařízení nebo výrobek splňovat. Stejně je tomu i při navrhování komínů. Jestliže stavíme dům, který bude vytápěn spalovacím zařízením, je potřeba předem znát parametry tohoto zařízení a podle toho komín vhodně navrhnout, neboli dimenzovat, abychom docílili správné funkce spalovacího zařízení. Toto zařízení však nevydrží věčnost a dříve či později je potřeba jej vyměnit. Nyní může nastat problém a to z toho důvodu, že nové spalovací zařízení bude mít jiné parametry než takové, pro které je komín navržen. Zpravidla mohou nastat dvě situace a to, že komín bude mít příliš vysoký, nebo příliš nízký tah. Tah komína si popíšeme v kapitole (3.1).

První a častější varianta je, že komín má příliš vysoký tah, to se projevuje na ne hospodárnosti spalovacího zařízení, neboť nadměrný tah vyvolává nadměrný průtok vzduchu a komínem nám odchází nevyužité teplo.

Druhá, méně častá varianta je, že komín bude mít naopak tah příliš nízký. V tomto případě se může problém projevovat nedokonalým spalováním a „dýmením“.

Oba dva zmiňované případy jsou nežádoucí a je možné se je pokusit kompenzovat, pomocí takzvaných regulátorů tahu. Naším cílem bude si takový regulátor tahu vyrobit, přesněji řečeno regulátor nadměrného tahu.

2 Cíle práce

Cílem této práce by mělo být vytvoření řídicí jednotky, která bude zajišťovat optimální spalování v krbových kamnech. Prvním úkolem je nastudování obecných možností regulace tahu komína. Pro lepší pochopení funkce komína bude sestaven matematický model tahu komína. Posledním a hlavním cílem práce je sestavení řídicí jednotky regulační klapky. Pomocí této jednotky budeme regulovat přívod sekundárního vzduchu do komína, čímž budeme snižovat celkový tah komína a pomocí této regulace se budeme snažit dosáhnout požadované teploty v místnosti s krbovými kamny.

Jednotlivé body požadovaných cílů jsou následující:

- Literární průzkum
- Matematický model tahu komína
- Návrh řízení natáčení klapky uzávěru
- Realizace řídicí jednotky ovládání kladky
- Realizace měření

3 Rešeršní studie

3.1 Tah komína

„Tah komínu je obecně založen na způsobu vytlačování lehčího sloupce spalín sloupcem těžšího studeného vzduchu na principu spojených nádob.“ [5]

Každý jistě ví, že teplý vzduch vstoupá vzhůru, to je způsobeno tím, že s rostoucí teplotou vzduchu klesá jeho hustota a tím pádem i jeho hmotnost vztažená na určitý objem. Vlivem rozdílu hustot venkovního vzduchu a spalín vzniká v komíně podtlak, který odborně nazýváme tah komína. V zásadě rozlišujeme tah komína na tah statický a tah činný.

Tah statický představuje maximální tah, jaký je komín schopen vyvolat a neuvažuje žádné tlakové ztráty, které při proudění spalín komínem vznikají. Závisí na účinné výšce komína, což je vzdálenost mezi vstupem spalín do komína a horním okrajem komína. A na rozdílu hustoty venkovního vzduchu a střední hustoty spalín. Matematicky můžeme statický tah komína vyjádřit následovně

$$P_{stat} = H_0 \cdot g \cdot (\rho_{xout} - \rho_s) \quad (1)$$

kde H_0 je účinná výška komína, g je gravitační zrychlení, ρ_{xout} je hustota venkovního vzduchu, a ρ_s je střední hustota spalín. Vztahy pro určení velikostí hustot si uvedeme v kapitole (4).

Tah činný je roven tlaku statickému sníženému o tlakové ztráty

$$P_{cin} = P_{stat} - P_{ztr} \quad (2)$$

kde P_{ztr} představuje tlakové ztráty vznikající při proudění spalín.

Jelikož je hustota plynu závislá na jeho teplotě, je zřejmé, že velikost tahu bude výrazně kolísat v závislosti na aktuálních teplotních podmínkách (na ročním období). Komíny jsou obvykle projektovány pro zajištění jmenovitého tahu při vnější teplotě 15°C, z důvodu zajištění bezpečného provozu. To však znamená, že v zimním období, kdy výrazně klesá hustota vzduchu, bývá tah příliš vysoký. To se všeobecně projevuje na ne hospodárnosti spalovacího zařízení. Nadměrná velikost tahu vyvolává větší průtok vzduchu, což má za následek zvýšení spotřeby paliva, zvýšení teploty spalín a tím pádem snížení účinnosti spalovacího zařízení. Z toho důvodu používáme prvky pro regulaci tahu.

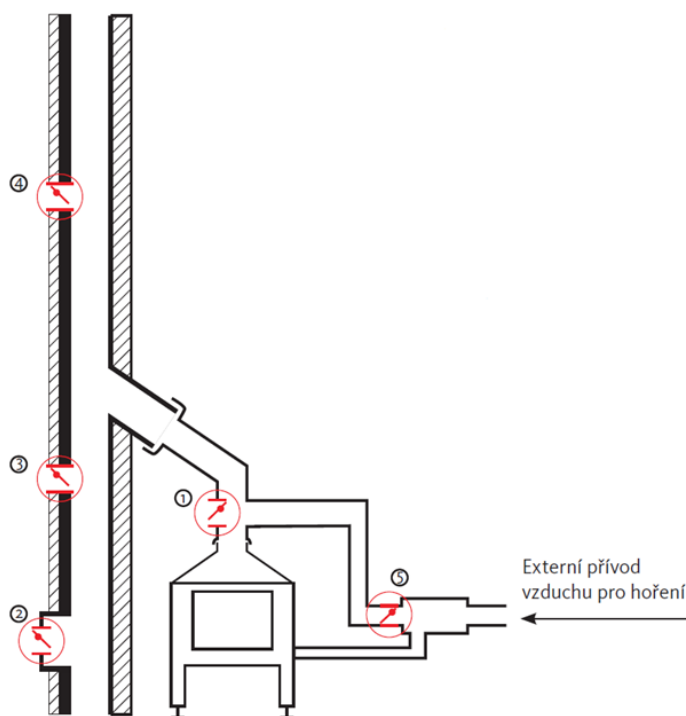
3.1.1 Zařízení pro regulaci tahu komína

Cílem zařízení pro regulaci tahu komína je zajištění rovnoměrného odvodu spalín a to v závislosti na proměnných tahových podmínkách. K tomu obvykle slouží následující zařízení:

Spalinové klapky: Jedná se o „škrtkové“ klapky umístěné v kouřovodu (potrubí spojující spalovací zařízení a komín) nebo přímo v průduchu komína. Jejich přivíráním, nebo otvíráním více či méně „přiškrcujeme“ průtok spalin a snižujeme tah komína.

Vzduchové klapky: Regulace pomocí vzduchových klapek je založena na přivádění „sekundárního“ vzduchu. Mísením spalin s chladným sekundárním vzduchem dochází ke snížení teploty spalin a k následnému snížení tahu komína. Přivíráním nebo otvíráním přivádíme více či méně sekundárního vzduchu a tím více či méně ovlivňujeme tah komína. Vzduchové klapky mohou být:

- s mechanickým ovládáním, jakmile se dosáhne určité hodnoty tahu, dochází k pootevření klapky, která přivádí regulovaný přívod vzduchu; hodnota, při které dochází k pootevření klapky je možno nastavit změnou závaží na klapce,
- s elektrickým ovládáním, v tomto případě je klapka řízena pomocí řídicí jednotky

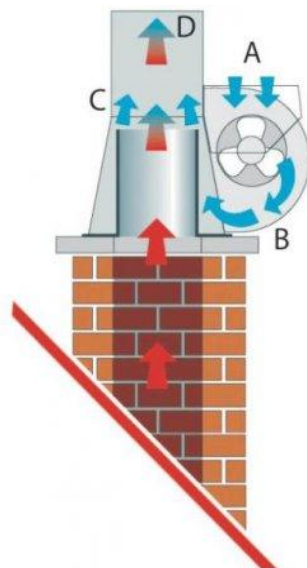


Obr. 1: Možnosti umístění vzduchové klapky [9]

Obrázek (Obr. 1) zobrazuje možnosti umístění spalinové klapky:

- 1) na kouřovod
- 2) do komínových dvířek
- 3) do neúčinné výšky komína
- 4) do účinné výšky komína
- 5) na kouřovod s přívodem externího vzduchu

Komínové ventilátory: V případě kdy má komín naopak nízký tah, je možno použít takzvaný komínový ventilátor. Tyto ventilátory bývají vybaveny regulací otáček a je možno je použít pouze v případě potřeby, například při zatápění, kdy je komín studený a má nízký tah nebo při nepříznivých klimatických podmínkách.



Obr. 2: Komínový ventilátor, převzato z [10]

Funkce komínového ventilátoru je následovná: ventilátor nasává okolní vzduch A a vhání jej do tlakové komory B. Tento vzduch následně prochází úzkou štěrbinou C, čímž získává vysokou rychlost proudění. Díky vyvolanému podtlaku jsou spaliny „vytahovány“ z komína D. [10]

3.1.2 Zařízení pro regulaci hoření

„Automatická regulace hoření je řízena mikroprocesorovou řídicí jednotkou, která porovnává okamžitý průběh hoření s programem „Optimalizace hořícího procesu“ a na základě vyhodnocení reguluje množství vzduchu do ohniště.“ [9]

Jedná se o zařízení určená obvykle pro spalovací zařízení na tuhá paliva (krby, krbová kamna, atd.), cílem těchto zařízení je zpravidla:

- snížit maximální teplotu spalin a optimalizovat průběh hoření na úroveň maximální využitelnosti energie
- po ukončení „aktivního“ hoření uzavřít přísun vzduchu – aby nedocházelo k úniku tepla tahem komína
- upravit křivku hoření dle optimálního nastavení

3.2 Tepelné procesy

„Při modelování tepelných procesů vycházíme ze zákonů termomechaniky, která se zabývá změnou vlastností látek, přívodem nebo odvodem tepla, přeměnou tepelné energie v jiné druhy energií a sdílení tepla.“ [1]

Ke sdílení (přenosu) tepla může docházet třemi mechanismy a to vedením (kondukcí), prouděním (konvekci) nebo sáláním (radiací). Dále se však budeme zabývat pouze přenosem tepla vedením a konvekcí.

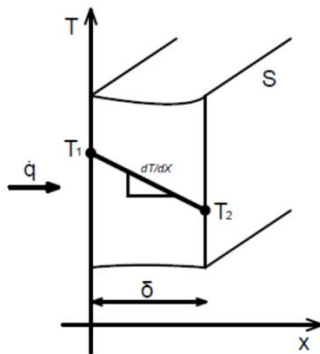
3.2.1 Přenos tepla vedením

Přenos tepla vedením je popsán Fourierovým zákonem, který říká:

Měrný tepelný tok \dot{q} [W/m²](to je tepelný tok \dot{Q} [W] vztažený na jednotku plochy S) přenesený vedením v nějaké látce je přímo úměrný velikosti teplotního gradientu a má opačné znaménko než tento gradient.

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{S} = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx} \quad (3)$$

Kde λ je měrná tepelná vodivost dané látky [W/m.K], jedná se o materiálovou charakteristiku, kterou nalezneme v tabulkách. Člen $\frac{dT}{dx}$ představuje gradient teploty ve směru osy x .



Obr.3: Vedení tepla jednoduchou rovinnou stěnou

Nejjednodušším případem je vedení tepla jednoduchou (jednovrstvou) rovinnou stěnou (obr.3). Jak můžeme vidět, teplotní profil je lineární, můžeme tedy zapsat teplotní gradient vztahem: $\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{\delta}$.

Měrný tepelný tok pro jednoduchou rovinnou stěnu bude potom dán vztahem:

$$\dot{q} = \lambda \cdot \frac{T_1 - T_2}{\delta} \quad (4)$$

Celkový tepelný tok přenášený plochou S je potom dán vztahem:

$$\dot{Q} = \lambda \cdot S \cdot \frac{T_1 - T_2}{\delta} \quad (5)$$

Kromě vedení tepla jednoduchou rovinnou stěnou jsou základními případy také vedení tepla jednoduchou válcovou stěnou a jednoduchou kulovou stěnou „slupkou“. V případě, že vedení tepla probíhá přes více vrstev o různých tepelných vodivostech a různých tloušťkách, jedná se o vedení tepla složenou stěnou (rovinnou, válcovou, nebo kulovou).

3.2.2 Analogie elektrických obvodů a přenosu tepla

Mezi elektrickými obvody a tepelnými procesy existuje určitá analogie, které při výpočtech přenosu tepla využíváme. Tuto analogii si vysvětlíme na předchozím vztahu (5).

Teplotní rozdíl neboli teplotní spád budeme považovat za rozdíl teplotního potenciálu ΔT (což představuje „tažnou“ sílu tepelného toku). Kombinace měrné tepelné vodivosti λ , plochy S a tloušťky δ představuje tepelný odpor proti vedení tepla R_λ , který je kladen do cesty tepelnému toku. S využitím výše uvedeného můžeme tepelný tok vyjádřit analogií k Ohmovu zákonu ($I \sim \dot{Q}$, $U \sim \Delta T$, $R \sim R_\lambda$).

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_\lambda} \quad (6)$$

Pro jednoduchou rovinnou stěnu tedy bude odpor proti vedení tepla dán vztahem

$$R_\lambda = \frac{\delta}{\lambda \cdot S} \quad (7)$$

V praxi tedy postupujeme při výpočtech přenosu tepla tak, že si určíme daný tepelný odpor, přes který přenos tepla probíhá a pomocí tohoto odporu a teplotního spádu poté spočteme výsledný tepelný tok.

Vztahy pro určení tepelných odporů základních těles (rovinná, válcová, kulová stěna) nalezneme v literatuře zabývající se přenosy tepla.

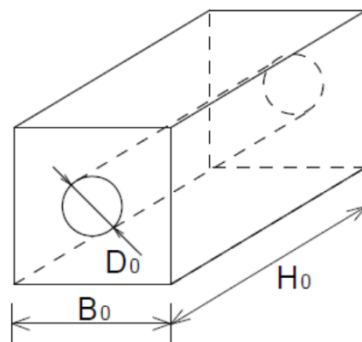


Obr.4: Analogie tepelných procesů a Ohmova zákona

3.2.3 Vedení tepla tělesy atypických tvarů

V případě, že přenos tepla probíhá tělesem atypických tvarů, bývají hodnoty tepelných odporů určovány pomocí tzv. empirických vztahů.

Příkladem takového tělesa může být například komín, kdy je vnitřní část válcového tvaru a vnější část tvaru kvádru.



Obr.5: Geometrický tvar komína

Tepelný odpor proti vedení stěnou komína určíme vztahem

$$R_{\lambda} = \lambda_w \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot H_0}{\ln(1,08 \cdot B_0 / D_0)} \cdot \Delta T. \quad (8)$$

3.3 Přenos tepla konvekcí

Jedná se o přestup tepla z povrchu těles do proudící tekutiny nebo opačně. Podle povahy proudění dělíme konvekci na dva druhy, přirozenou nebo nucenou. Při konvekci přirozené dochází k samovolnému proudění tekutiny, to je vyvoláno vztlakem v důsledku změny hustoty tekutiny při jejím ohřevu. Jestliže se jedná o konvekci nucenou, je pohyb tekutiny vyvolán (vynucen) vnějším tlakovým rozdílem, např. pomocí ventilátoru nebo čerpadla. Bez ohledu na povahu konvekce platí pro přenášený tepelný tok následující vztah nazývaný jako Newtonův ochlazovací zákon

$$\dot{Q} = \alpha \cdot S \cdot (T_w - T_{\infty}), \quad (9)$$

kde α je součinitel přestupu tepla [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$].

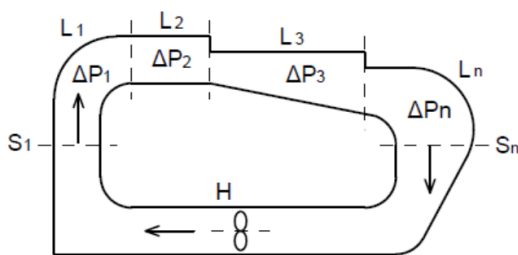
Převrácená hodnota součinitele přestupu tepla představuje tepelný odpor, přes který dochází k přenosu tepla mezi povrchem tělesa a tekutinou

$$R_{\alpha} = \frac{1}{\alpha}. \quad (10)$$

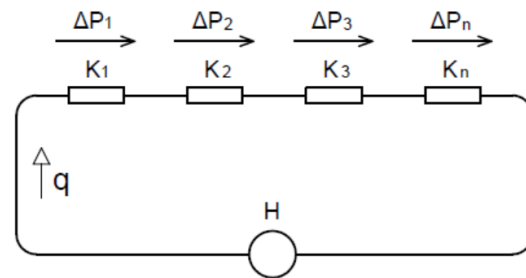
3.4 Základní vztahy Hydromechaniky

Stejně jako jsme si v kapitole (3.2) uvedli souvislost mezi tepelnými a elektrickými obvody, ukážeme si nyní, že podobná souvislost existuje také mezi obvody elektrickými a hydraulickými.

Základním problémem, jakým se v hydromechanice zabýváme je proudění nějakého média potrubím. K tomu aby k proudění vůbec docházelo, je potřeba tlakového zdroje H [Pa], který v potrubí vyvolá průtok q [m³/s]. Během proudění může docházet ke ztrátám, které se projevují úbytkem tlaku ΔP [Pa]. Příklad takovéto situace je na (Obr. 6a)).



Obr.6a)Příklad hydraulického okruhu



6b)Příslušné elektrické schéma

Na obrázku (Obr. 7b)) je znázorněno elektrické schéma analogické k danému uspořádání hydraulického okruhu. Hodnota úbytku tlaku je analogická hodnotě úbytku napětí a s využitím Ohmova zákona je dána vztahem

$$\Delta P = K \cdot q^n \quad (11)$$

kde exponent n závisí na daném druhu proudění a může nabývat hodnot 1÷2. V případě laminárního proudění je $n=1$ a závislost hydraulického odporu mezi tlakovým spádem a průtokem je lineární. V případě, že se jedná o proudění turbulentní (ve většině případů), je hodnota exponentu $n=2$ a vztah (11) bude mít tvar

$$\Delta P = K \cdot q^2. \quad (12)$$

Tento vztah se nazývá *Atkinsonův zákon* (kvadratický zákon).

Tlaková ztráta může být způsobena třením, nebo tzv. místními odpory (náhlé rozšíření nebo zúžení potrubí, clona v potrubí, koleno atd.). Hodnotu hydraulického odporu pro tření v potrubí určíme podle vztahu

$$K = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{1}{S^2} \quad (13)$$

kde λ je součinitel tření [-].

Hodnotu hydraulického odporu pro místní ztráty určíme podle vztahu

$$K = \xi \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{1}{S^2} \quad (14)$$

kde ξ je součinitel místní ztráty [-].

Druh proudění (laminární nebo turbulentní) určíme na základě Reynoldsova čísla

$$Re = D \cdot \frac{v_s}{\nu} \quad (15)$$

kde v_s je střední rychlost proudění média [m/s] a ν je kinematická viskozita [m²/s].

- $Re < 1800$ – laminární proudění
- $Re = 1800 \div 4000$ – přechodová oblast
- $Re > 4000$ – turbulentní proudění

Analogie hydraulických obvodů a Ohmova zákona

V případě že budeme uvažovat turbulentní proudění, můžeme hydraulické veličiny vyjádřit s použitím Ohmova zákona jako ($I \sim q$, $U \sim \Delta P$, $R \sim K$).

Při sériovém řazení odporů určíme celkový hydraulický odpor K_s

$$K_s = \sum_{i=1}^n K_{si} \quad (16)$$

Při paralelním řazení odporů určíme celkový hydraulický odpor K_p

$$K_p = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{K_{pi}}}} \right)^2 \quad (17)$$

Jednotlivé toky se při paralelním řazení rozdělí v poměru

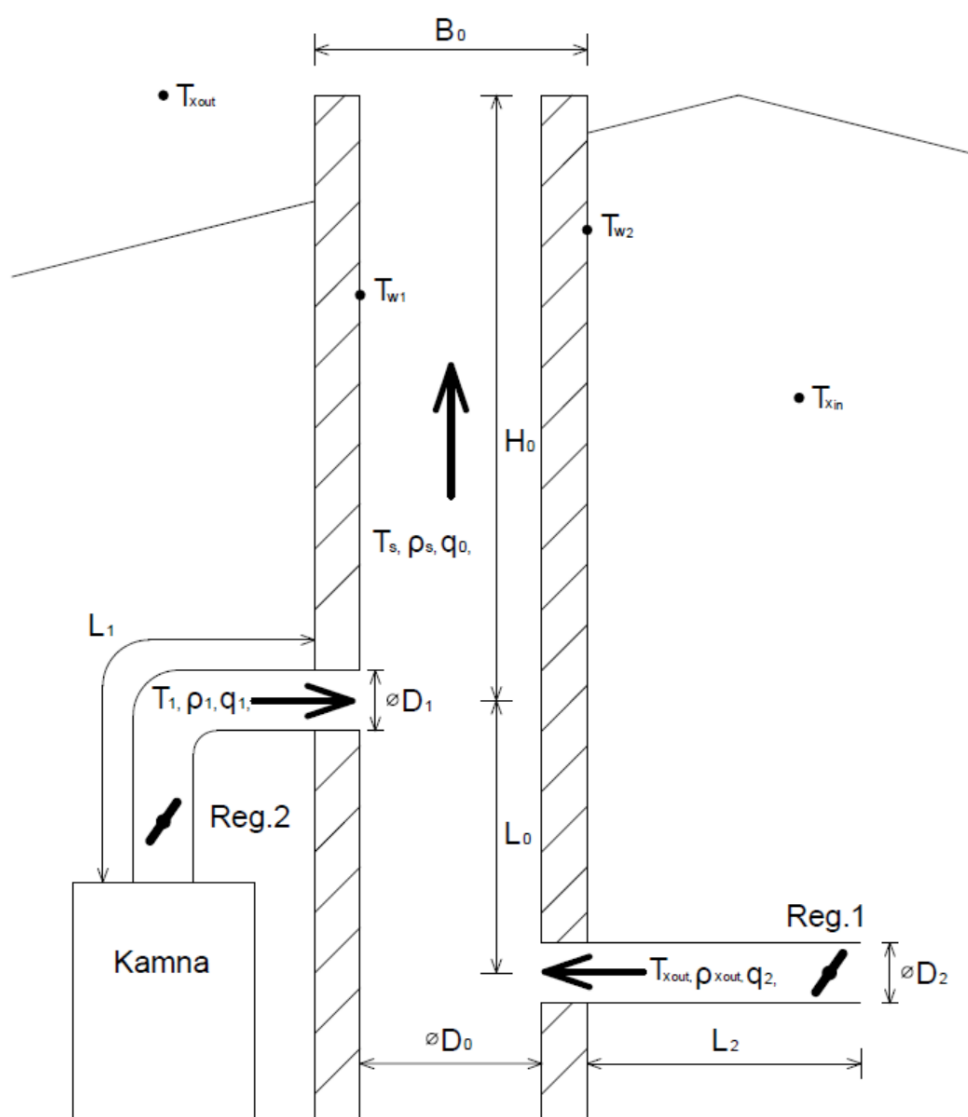
$$\frac{q_i}{q} = \sqrt{\frac{K_p}{K_{pi}}} \quad (18)$$

Pro celkový objemový tok platí

$$q = \sqrt{\frac{H}{K}} \quad (19)$$

4 Matematický model tahu komína

Při sestavení rovnic matematického modelu tahu komína budeme vycházet z (obr. 7). Nejdříve si odvodíme diferenciální rovnice popisující změny teplot v čase a to sice teploty spalin, teploty vnitřní stěny komína a teploty vnější stěny komína. Poté si odvodíme rovnice, vyjadřující hodnoty jednotlivých průtoků q_0 , q_1 a q_2 . S využitím odvozených rovnic vytvoříme simulační model v prostředí Matlab/Simulink. Tento model doplníme regulátorem tahu a na závěr provedeme základní simulace.



Obr.7: Schématické znázornění komína

4.1 Odvození rovnic pro sestavení matematického modelu tahu komína

K odvození rovnic matematického modelu tahu komína využijeme teoretických poznatků uvedených v kapitole (3.2).

Pro změnu teploty spalin T_s platí rovnice

$$\rho_0 \cdot c_{p0} \cdot V_0 \cdot \frac{dT_s}{dt} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 - \dot{Q}_0 - \dot{Q}_{k1} \quad (20)$$

Vnitřní objem komína V_0 určíme dle vztahu

$$V_0 = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot H_0 \quad (21)$$

Členy \dot{Q}_0 , \dot{Q}_1 a \dot{Q}_2 představují tepelné energie v proudu tekutiny, přičemž \dot{Q}_0 je tepelná energie v proudu spalin, které opouštějí komín, jedná se tedy o jistý druh ztrátového výkonu. \dot{Q}_0 je dána vztahem

$$\dot{Q}_0 = \rho_0 \cdot c_{p0} \cdot q_0 \cdot T_s \quad (22)$$

\dot{Q}_1 je tepelná energie v proudu spalin vstupujících do komína a je dána vztahem

$$\dot{Q}_1 = \rho_0 \cdot c_{p0} \cdot q_1 \cdot T_1 \quad (23)$$

\dot{Q}_2 je tepelná energie v proudu sekundárního vzduchu, který do komína přivádíme za účelem snížení střední teploty spalin a je dána vztahem

$$\dot{Q}_2 = \rho_0 \cdot c_{p0} \cdot q_2 \cdot T_{x_{out}} \quad (24)$$

\dot{Q}_{k1} je tepelný tok přestupu tepla ze spalin do vnitřních stěn komína

$$\dot{Q}_{k1} = \alpha_{s,w} \cdot S_{w1} \cdot (T_s - T_{w1}) \quad (25)$$

Plochu vnitřní stěny komína S_{w1} určíme dle vztahu

$$S_{w1} = \pi \cdot D_0 \cdot H_0 \quad (26)$$

Pro změnu teploty vnitřní stěny komína T_{w1} platí rovnice

$$\rho_w \cdot c_w \cdot \frac{V_w}{2} \cdot \frac{dT_{w1}}{dt} = \dot{Q}_{k1} - \dot{Q}_v \quad (27)$$

Objem zdíva komína V_w určíme dle vztahu

$$V_w = H_0 \cdot B_0^2 - H_0 \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \quad (28)$$

kde \dot{Q}_v je přenos tepla vedením přes stěny komína

$$\dot{Q}_v = \frac{(T_{w1} - T_{w2})}{R_{\lambda_w}} \quad (29)$$

Pro změnu teploty vnější stěny komína T_{w2} platí rovnice

$$\rho_w \cdot c_w \cdot \frac{V_w}{2} \cdot \frac{dT_{w2}}{dt} = \dot{Q}_v - \dot{Q}_{k2} \quad (30)$$

kde \dot{Q}_{k2} je tepelný tok přestupu tepla z venkovních stěn komína do okolí

$$\dot{Q}_{k2} = \alpha_{w,x_{in}} \cdot S_{w2} \cdot (T_{w2} - T_{x_{in}}) \quad (31)$$

Plochu vnějších stěn komína S_{w2} určíme dle vztahu

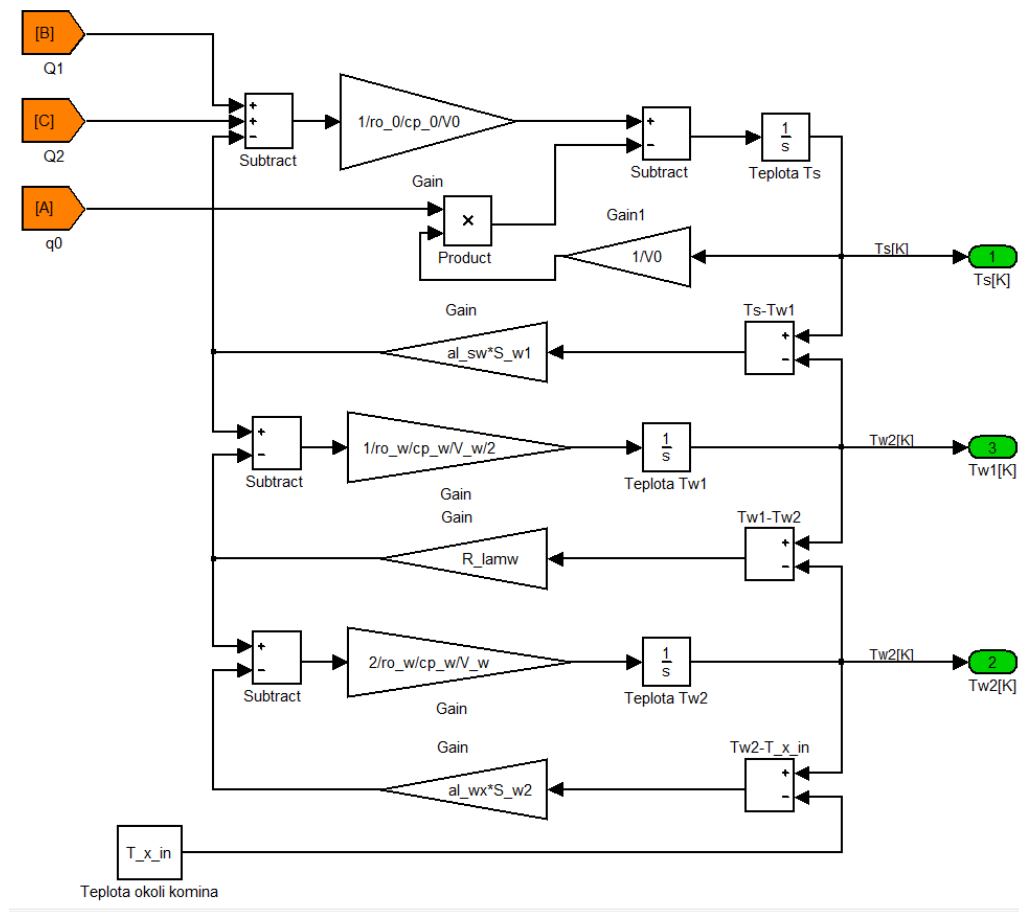
$$S_{w2} = 4 \cdot B_0 \cdot H_0 \quad (32)$$

Po dosazení a úpravách dostaneme tři diferenciální rovnice 1. řádu pro teploty T_s , T_{w1} a T_{w2}

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{1}{\rho_0 \cdot c_{p0} \cdot V_0} \cdot (\dot{Q}_1 + \dot{Q}_2) - \frac{q_0}{V_0} \cdot T_s - \frac{1}{\rho_0 \cdot c_{p0} \cdot V_0} \cdot \alpha_{s,w} \cdot S_{w1} \cdot (T_s - T_{w1}) \quad (33)$$

$$\frac{dT_{w1}}{dt} = \frac{1}{\rho_w \cdot c_w \cdot \frac{V_w}{2}} \cdot \left[\alpha_{s,w} \cdot S_{w1} \cdot (T_s - T_{w1}) - \frac{1}{R_{\lambda_w}} \cdot (T_{w1} - T_{w2}) \right] \quad (34)$$

$$\frac{dT_{w2}}{dt} = \frac{1}{\rho_w \cdot c_w \cdot \frac{V_w}{2}} \cdot \left[\frac{1}{R_{\lambda_w}} \cdot (T_{w1} - T_{w2}) - \alpha_{w,x_{in}} \cdot S_{w2} \cdot (T_{w2} - T_{x_{in}}) \right] \quad (35)$$



Obr.8: Sestavení diferenciálních rovnic v prostředí Matlab/Simulink

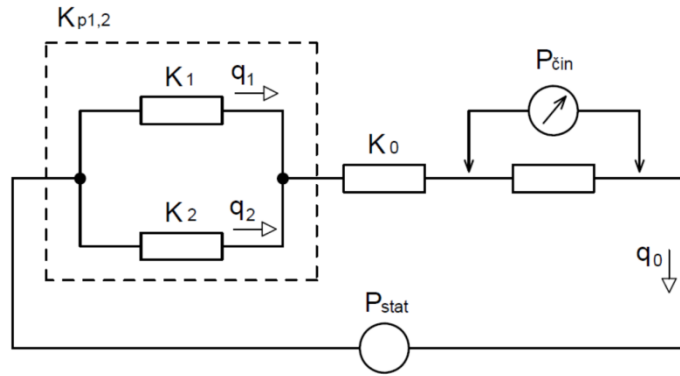
4.1.1 Odvození rovnic objemových průtoků

Nyní máme sestaveny diferenciální rovnice popisující změnu teploty spalín a změnu teploty vnitřních a vnějších stěn komína. V těchto rovnicích se však vyskytují prozatím neznámé průtoky q_0 , q_1 a q_2 , přičemž musí platit, že

$$q_0 = q_1 + q_2. \quad (36)$$

Průtoky q_1 a q_2 jsou vůči sobě řazeny „paralelně“. Znamená to tedy, že jejich velikosti budou závislé na velikostech hydraulických odporů daných potrubí. To přináší jisté omezení plánované regulace, neboť v případě velkého hydraulického odporu potrubí pro přívod sekundárního vzduchu by byl průtok tohoto vzduchu nízký. Ideální by však bylo, aby byl tento průtok co možná největší.

Jednotlivé průtoky určíme s využitím poznatků uvedených v kapitole (3.4). Nejprve si sestavíme elektrické schéma analogické k našemu hydraulickému „okruhu“.



Obr. 9: Vytvoření elektrického schématu

Abychom určili průtok q_0 , potřebujeme znát statický tah a hydraulické odpory K_0 , K_1 a K_2 , ty určíme s využitím rovnic (13) a (14). Odpor K_0 je dán ztrátou třením v komíně a součinitelem místní ztráty

$$K_0 = \frac{\rho_s}{2 \cdot S_0^2} \cdot \left(\lambda_0 \cdot \frac{H_0}{D_0} + \xi_0 \right) \quad (37)$$

Odpor K_1 je dán vztahem

$$K_1 = \frac{\rho_1}{2 \cdot S_1^2} \cdot \left(\lambda_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} + \xi_1 \right) \quad (38)$$

Odpor K_2 je dán vztahem

$$K_2 = \frac{\rho_{x_{out}}}{2 \cdot S_2^2} \cdot \left(\lambda_2 \cdot \frac{L_2}{D_2} + \xi_2 + \lambda_0 \cdot \frac{L_0}{D_0} \right) \quad (39)$$

Odpory K_1 a K_2 jsou řazeny paralelně a jejich výsledná hodnota je s využitím rovnice (17) dána vztahem

$$K_{p1,2} = \left(\frac{1}{\frac{1}{\sqrt{K_1}} + \frac{1}{\sqrt{K_2}}} \right)^2 \quad (40)$$

Pro odvození průtoku q_0 budeme vycházet z následující úvahy. Tah v komíně vyvolává průtok. V případě, že by nenastali žádné tlakové ztráty, určí bychom průtok z rovnice

$$H_0 \cdot g \cdot (\rho_{x_{out}} - \rho_s) = q_0^2 \cdot \frac{\rho_s}{2 \cdot S_0^2} \quad (41)$$

Tato rovnice vyjadřuje rovnost statického a dynamického tlaku, ale zároveň říká, že tah statický je roven tlaku činnému.

V případě, že uvažujeme tlakové ztráty, určíme průtok z následující rovnice

$$H_0 \cdot g \cdot (\rho_{x_{out}} - \rho_s) = q_0^2 \cdot \left(\frac{\rho_s}{2 \cdot S_0^2} + K_0 + K_{p_{1,2}} \right) \quad (42)$$

Úpravou této rovnice získáme skutečný průtok q_0

$$q_0 = \sqrt{\frac{H_0 \cdot g \cdot (\rho_{x_{out}} - \rho_s)}{\left(\frac{\rho_s}{2 \cdot S_0^2} + K_0 + K_{p_{1,2}} \right)}} \quad (43)$$

Jednotlivé hustoty určíme pomocí stavové rovnice

$$\rho_{x_{out}} = \frac{p}{r_0 \cdot T_{x_{out}}} \quad (44)$$

$$\rho_{x_{out}} = \frac{p}{r_0 \cdot T_s} \quad (45)$$

Dílčí průtoky q_1 a q_2 určíme s využitím rovnice (18)

$$q_1 = q_0 \cdot \sqrt{\frac{K_{p_{1,2}}}{K_1}} \quad (46)$$

$$q_2 = q_0 \cdot \sqrt{\frac{K_{p_{1,2}}}{K_2}} \quad (47)$$

V případě, že platí rovnice (2), můžeme s využitím rovnice (42) vyjádřit činný tah a tlakové ztráty

$$P_{\dot{c}in} = q_0^2 \cdot \frac{\rho_s}{2 \cdot S_0^2} \quad (48)$$

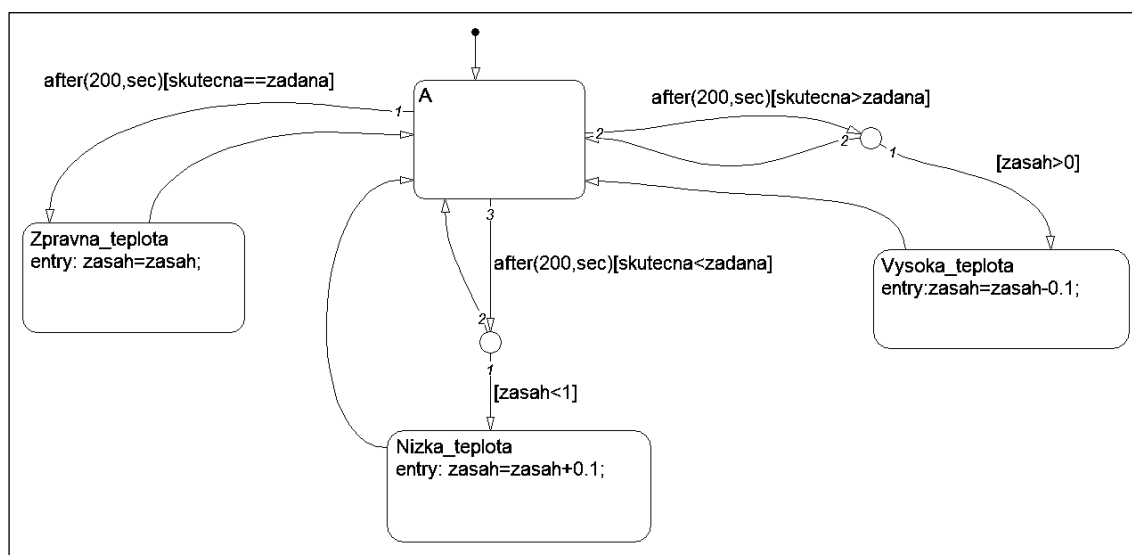
$$P_{ztr} = q_0^2 \cdot (K_0 + K_{p_{1,2}}) \quad (49)$$

4.2 Doplnění modelu o regulátor tahu

Nyní máme sestaveny veškeré rovnice tvořící matematický model tahu komína. Tento model na závěr doplníme o regulátor tahu. Tímto regulátorem se budeme snažit udržovat hodnotu tahu, případně průtoku na požadované hodnotě. Regulaci budeme provádět „natáčením“ regulační klapky Reg.1, viz (obr.7), čímž budeme regulovat přívod sekundárního vzduchu q_2 do komína. Tím budeme snižovat teplotu spalin T_s a tím pádem budeme snižovat celkový tah komína. Za účelem co nejvyšší efektivity je potřeba přivádět sekundární vzduch co nejchladnější, aby docházelo k co možná největšímu snížení teploty spalin. Budeme tedy přivádět venkovní vzduch o teplotě T_{xout} .

Při volbě regulátoru musíme brát v úvahu, že regulací zasahujeme do procesu hoření. Z hlediska bezpečnosti tedy není vhodné použití klasického PID regulátoru. Pro regulaci využijeme algoritmus, používaný v „automatických regulátorech hoření“ o kterých jsme se zmiňovali v kapitole (3.1).

Daný algoritmus je poměrně jednoduchý. Stejně jako u každého druhu regulace budeme sledovat rozdíl mezi požadovanou a aktuální hodnotou regulované veličiny v našem případě tahu nebo průtoku. Jestliže bude tah příliš vysoký, pootevřeme klapku regulátoru o předem danou konstantní hodnotu (např. o 10%). Takovýto zásah budeme provádět pouze v určitých časových intervalech (např. po 200 sekundách). Je to z toho důvodu, abychom „prudce“ nezasahovali do procesu hoření. Regulační zásah budeme provádět do té doby, dokud se nedostaneme nebo alespoň nepřiblížíme na požadovanou hodnotu regulované veličiny.



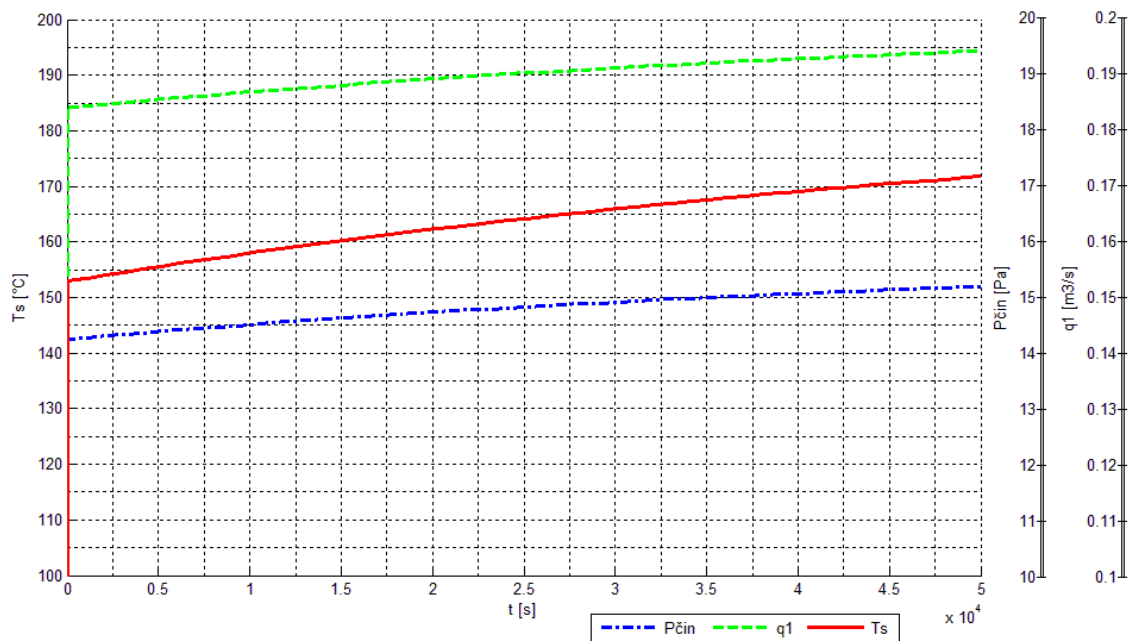
Obr.10: Struktura regulátoru vytvořeného v prostředí Stateflow

4.3 Simulace tahu komína

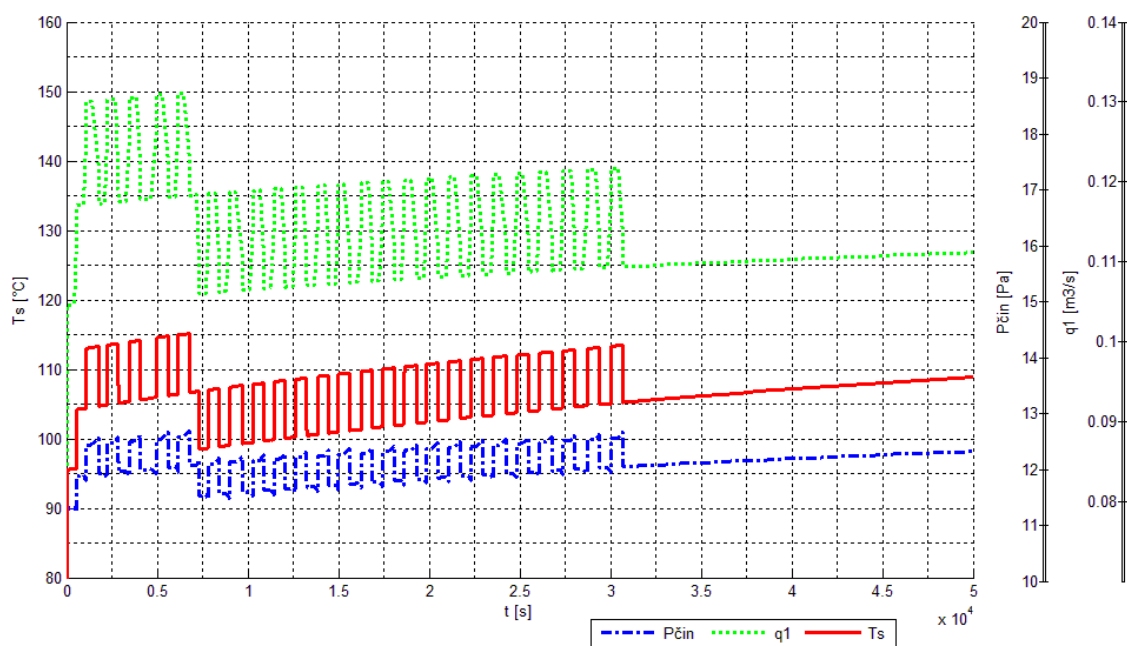
Nyní máme sestaven kompletní matematický model tahu komína včetně regulátoru a provedeme si jeho simulaci. Simulace bude provedena pro následující vstupní hodnoty:

$B_0 = 0,5 \text{ m}$; $cp_0 = 1050 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$; $cp_w = 1050 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$; $D_0 = 0,2 \text{ m}$; $D_1 = 0,2 \text{ m}$;
 $D_2 = 0,2 \text{ m}$; $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$; $H_0 = 10 \text{ m}$; $L_0 = 2 \text{ m}$; $L_1 = 2 \text{ m}$, $L_2 = 2 \text{ m}$; $P = 101325 \text{ Pa}$;
 $r_0 = 287 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$; $T_1 = 200+273,15 \text{ K}$; $T_{xin} = 15+273,15 \text{ K}$; $T_{xout} = -5+273,15 \text{ K}$;
 $\alpha_{s,w} = 10 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$; $\alpha_{w,x} = 10 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$; $\lambda_0 = 0.04$; $\lambda_1 = 0.04$; $\lambda_2 = 0.04$;
 $\lambda_w = 0,3 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$; $\xi_0 = 0$; $\xi_1 = 0$; $\xi_2 = 0$; $\rho_w = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$; $\rho_0 = 1 \text{ kg.m}^{-3}$.

Pro takto zvolené parametry provedeme dvě simulace a to sice s regulací a bez regulace tahu, výsledné průběhy poté porovnáme. V simulaci budeme pozorovat průběhy střední teploty spalin T_s , činného tlaku $P_{\text{čin}}$ a objemového průtoku nasávaných spalin z kouřovodu q_1 . Cílem regulátoru bude udržet hodnotu činného tahu $P_{\text{čin}}$ na hodnotě 12 Pa.



Obr.11: Simulace modelu tahu komína bez použití regulátoru



Obr.12. Simulace modelu tahu komína s použitím regulátoru tahu

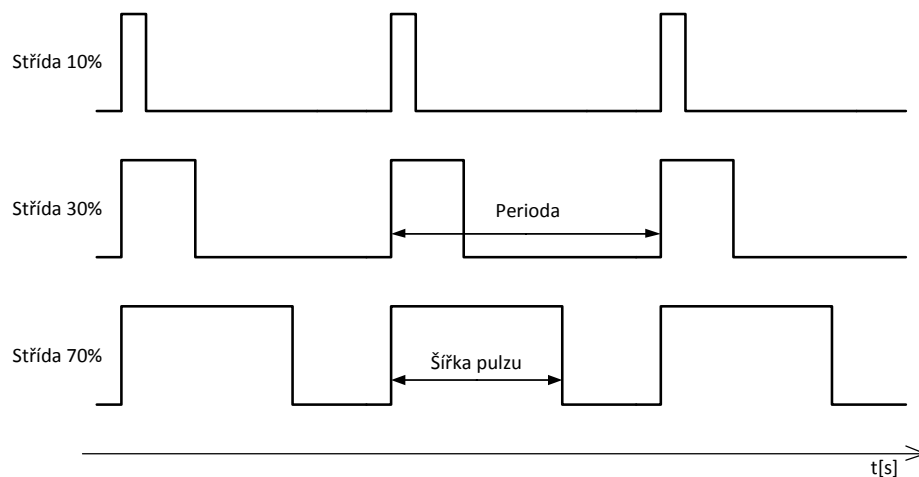
Na (obr.11 a obr. 12) jsou výsledné průběhy teploty spalin, činného tahu a objemového průtoku spalin z kouřovodu q_1 s regulací a bez regulace. Na výsledných grafech je možné vidět, jak se regulace projevuje na jednotlivých veličinách. Nejlepším měřítkem výhody regulace je nejspíše průtok spalin q_1 . Pomocí daných průběhů můžeme vidět, že jeho velikost při použití regulátoru klesla téměř na polovinu, to znamená že výsledná komínová, kdy nám nevyužité teplo uniká komínem, bude poloviční. Což je veliká výhoda.

Na (obr.12) je možné vidět, že asi od poloviny doby simulace už nedochází k zásahu regulátoru. To je způsobeno tím, že regulační klapka už je naplno otevřena a pomocí tohoto regulátoru už nelze regulaci více ovlivnit.

5 Návrh řízení natáčení klapky regulátoru

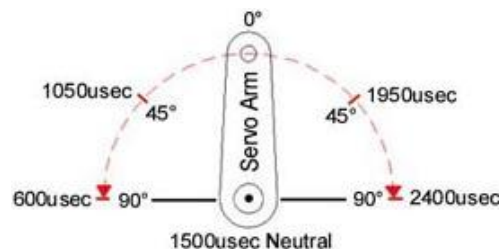
Jedním z cílů práce bylo navržení vhodného řízení natáčení klapky regulátoru. Zvolený způsob řízení je realizován pomocí „modelářského serva“. Výhodou těchto servomotorků je jejich jednoduché řízení. To se provádí pomocí pulzně šířkové modulace (PWM).

Signál pulzně šířkové modulace představuje pulzní signál s konstantní periodou a výškou pulzů. Změnou šířky pulzu měníme velikost středního napětí. Poměr mezi šířkou pulzu a periodou se nazývá „střída“, je to bezrozměrná veličina, která může nabývat hodnot $(0 \div 100)\%$.



Obr. 13: Průběhy pulzně šířkové modulace pro různé velikosti střídy

Modelářská serva vyžadují pro svou správnou funkci PWM signál s periodou 20ms. Změnou šířky pulzu v rozmezí 600us – 2400us měníme natočení hřídele serva v rozmezí $-90^\circ \div 90^\circ$.



Obr.14: Závislost natočení hřídele serva na šířce pulzu [12]

Jelikož budeme pomocí řídicí jednotky nastavovat polohu klapky v rozmezí $0^\circ \div 90^\circ$, bude potřeba, aby byl výstupem naší řídicí jednotky PWM signál s šířkou pulzů $600\text{us} \div 1500\text{us}$, nebo $1500\text{us} \div 2400\text{us}$.

6 Realizace řídicí jednotky regulační klapky bez použití mikrokontroléru

V počátku práce, kdy ještě nebyl započat vývoj řídicí jednotky ovládané mikrokontrolérem (což je hlavním cílem práce), byl vytvořen jednoduchý „regulátor“ založený na použití analogových součástek. Tento regulátor byl vytvořen za účelem provádění základních měření.

Z počátku je třeba uvést, že při tvorbě tohoto regulátoru jsme neuvažovali se způsobem regulace pomocí přivádění sekundárního vzduchu do komína. Při výrobě této řídicí jednotky jsme uvažovali, že regulační klapka bude umístěna v komíně a bude „přiškrcovat“ průtok spalin komínem. Teprve později jsme s vedoucím práce konstatovali, že regulace pomocí přívodu sekundárního vzduchu bude bezpečnější. Proto se v jiných částech práce pojednává a uvažuje s již zmiňovanou regulací pomocí přívodu sekundárního vzduchu.

Výroba této elektroniky byla prováděna s myšlenkou, že budeme měřit teplotu spalin pomocí termistoru, který se změnou teploty mění velikost svého odporu. S rostoucí teplotou spalin roste i tah komína. Úkolem tohoto regulátoru je tedy s rostoucí teplotou spalin přivírat škrtecí klapku v komíně a tím se snažit tah komína snížit.

V předchozí kapitole (5) jsme si uvedli, že regulační klapka je ovládána pomocí modelářského serva, které je řízeno pomocí PWM signálu. Řídicí jednotka tedy musí generovat změnu PWM signálu na základě změny teploty měřené termistorem.

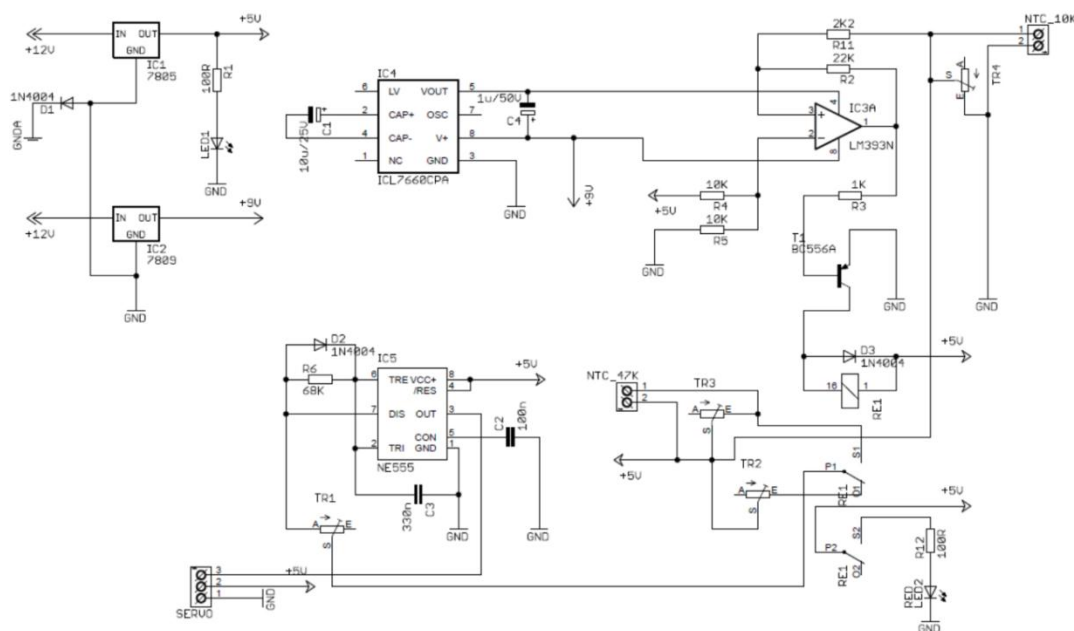
Schéma vyrobené elektroniky je na (obr.15). Toto schéma se skládá, ze tří základních celků. Základem je zapojení časovače *NE555* v režimu „*astabilní klopný obvod*“. Jedná se o klasické „katalogové“ zapojení. Vhodnou kombinací hodnot odporů mezi vývody 6-7 a 7-8 je možné nastavit PWM signál o požadované střídě a periodě (viz. [13]). Použitím termistoru a vhodným sériově – paralelním řazením odporů (ve schématu realizováno pomocí trimrů *TR1* a *TR3*) k tomuto termistoru, je možné dosáhnout vhodného výsledného odporu, respektive změny odporu s teplotou, který bude vyvolávat námi požadovaný průběh PWM signálu, závislý na teplotě. Jako termistor, zajišťující změnu odporu vyvolávající změnu PWM signálu s teplotou bylo zvoleno čidlo *NTC 47kΩ*.

Druhým celkem, který se ve schématu vyskytuje je obvod *LM393* zapojený v režimu komparátor s hysterezí. Tento obvod zajišťuje, že k regulaci pomocí termistoru dochází až při určité teplotě (nastaveno na 50°C), tuto teplotu je možné doladit pomocí trimru *TR4*.

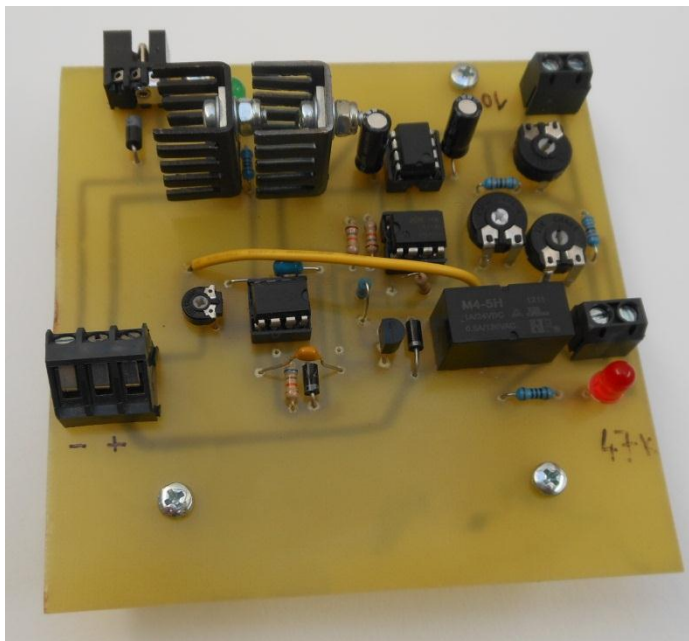
Celá řídicí jednotka funguje následovně. Jestliže netopíme v krbových kamnech je teplota v komíně rovna teplotě nižší než daných 50°C, v tomto případě je pomocí relé *RE1* připojen trimr *TR2*, který zajišťuje takový průběh PWM signálu, aby byla škrtecí klapka úplně otevřena. V případě zvýšení teploty nad 50°C dojde k překlopení komparátoru, který začne budit tranzistor *T1*, zapojený jako spínač. Jestliže dojde k sepnutí tohoto tranzistoru dojde k sepnutí relé *RE1*. Relé se následně „přepne“ a začne probíhat regulace pomocí teploty spalin. Sepnutí relé je

indikováno pomocí diody LED2. Snímání teploty, při které má dojít k překlopení komparátoru je prováděno pomocí čidla $NTC\ 10k\Omega$. Nevýhodou zapojení tedy je, že je potřeba dvou teplotních čidel. Volba komparátoru s hysterezí byla zvolena z toho důvodu, aby nedocházelo k případnému „cvakání“ při teplotě kdy dochází k překlopení komparátoru.

Obvod ICL 7660 je použit pouze pro zajištění symetrického napájení komparátoru.



Obr. 15: Schéma zapojení řídicí jednotky bez použití mikrokontroléru



Obr.16: Řídicí jednotka ovládání regulační klapky bez použití mikrokontroléru

7 Realizace řídicí jednotky regulační klapky s použitím mikrokontroléru

7.1 Úvod a shrnutí požadavků na řídicí jednotku

Hlavním cílem práce bylo vytvoření řídicí jednotky pro ovládání polohy klapky regulátoru s použitím mikrokontroléru. Hlavními požadavky kladené na tuto jednotku jsou možnost ručního nastavení polohy regulační klapky a možnost regulace teploty v místnosti.

7.2 Volba vhodného mikrokontroleru

Volba mikrokontroléru byla počátečním krokem při navrhování řídicí jednotky. Základní volba padla na mikrokontroléry značky Microchip a to z důvodu snadného programování s využitím nástroje *Embedded Target for Microchip (Kerhuel Toolbox)*, což je nadstavbou *Matlab/Simulink*. Využití tohoto nástroje je velice výhodné, jelikož nevyžaduje úplné znalosti programování. Jako nejvhodnější varianta se jevil mikrokontrolér *dsPIC33FJ128MC804*, který byl nakonec pro realizaci použit.

Základní požadavky na mikrokontrolér

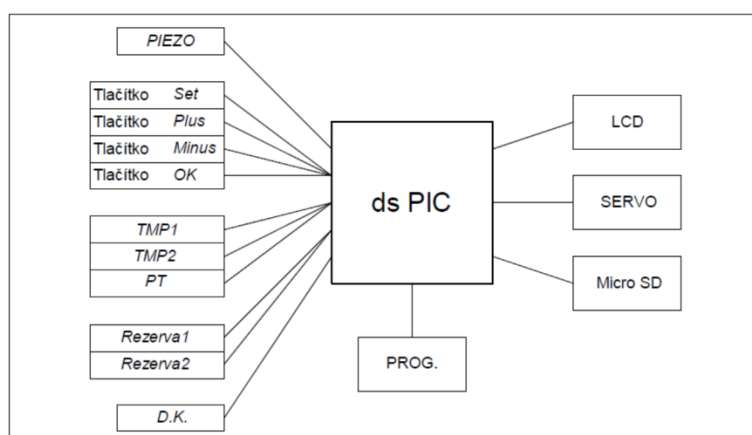
- Možnost generování kódu pomocí Kerhuel Toolbox
- Připojení LCD displeje
- Připojení tlačítek pro ovládání jednotky
- Generování PWM signálu
- Využití A/D převodníku pro měření (teploty, příp. tlaku)

7.3 Návrh desky plošného spoje

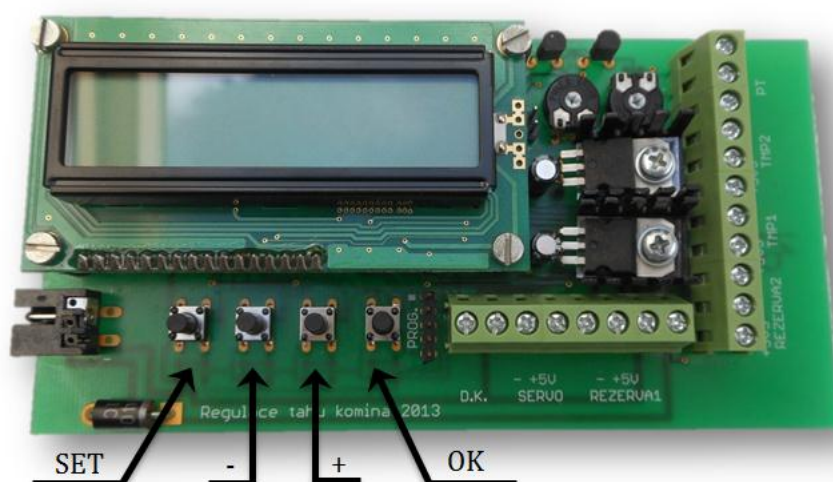
Před samotným návrhem desky byl základním krokem vybrání krabičky, do které bude později kompletní jednotka usazena. Jako nejvhodnější se jevila krabička s označením *U-KP33 BLACK*, především z důvodu vhodných rozměrů. Výrobce udává doporučené rozměry DPS (73 x 143 mm). Kompletní návrh desky byl proveden pomocí softwaru *Eagle*. Výsledná deska je dvoustranná a vyrobená profesionální firmou.

Na (obr.17) je zjednodušené blokové schéma řídicí jednotky. Kompletní schéma zapojení a návrh DPS je v příloze (*Ridici_jednotka_s_uC.sch*, *Ridici_jednotka_s_uC.brd*). „Srdcem“ celého celku je již zmíněný mikrokontrolér dsPIC. K tomuto kontroleru jsou připojeny následující periferie:

- Čtyři tlačítka s označením *Set*, *-*, *+* a *OK*
- LCD displej pro zobrazování údajů
- Konektory *TMP1* a *TMP2* pro připojení dvou teplotních čidel TMP 36GT9Z
- Konektor *PT* pro připojení jednoho teplotního čidla PT 100
- Konektor *Servo* pro připojení servomotoru
- Dva konektory s označením *Rezerva 1* a *Rezerva 2*
- Konektor *D.K.* pro připojení dveřního kontaktu
- Konektor *PROG.* určený pro nahrávání programu do mikrokontroléru
- Konektor *PIEZO*
- Slot pro micro SD kartu



Obr. 17 Blokové schéma řídicí jednotky s mikrokontrolérem



Obr. 18 Výsledná podoba řídicí jednotky s použitím mikrokontroléru

7.3.1 Podrobnější popis jednotlivých periférií:

Tlačítka

Tlačítka slouží k zadávání potřebných parametrů (nastavení teploty, polohy klapky,...). Podrobnější informace o jednotlivých funkcích tlačítek bude popsán v kapitole (7.6)

LCD displej

Displej slouží k zobrazování potřebných údajů během provozu jednotky. To může být například aktuální nebo nastavená teplota. Podrobnější informace k zobrazovaným údajům budou uvedeny v kapitole (7.6).

Použitý displej má označení WH1602A-YGH-ET od značky WINSTAR. Jedná se o displej s počtem znaků 16 x 2 (16 sloupců dva řádky) a s funkcí podsvícení.

Konektor Servo

Konektor *Servo* slouží k připojení servomotoru ovládající polohu klapky regulátoru. Tento konektor je veden na pin mikrokontroleru, na kterém generujeme PWM signál pomocí periferie *OC – OutputCompare*.

Konektory Rezerva 1 a rezerva 2

Konektory *Rezerva 1* a *Rezerva 2* jsou na desce prozatím jako záložní. Tyto konektory byly na desku připraveny z důvodu, že by mohla být v budoucnu potřeba připojit k jednotce například čidlo tlaku, nebo čidlo oxidu uhelnatého nebo také další servomotor. Rezervní konektory byly záměrně připojeny na takové piny procesoru, aby jejich použití mohlo být univerzální (ADC/PWM).

Konektor D.K.

D.K. – dveřní kontakt. Tento konektor je na desce opět prozatím pouze jako záložní. Dveřní kontakty se používají u „automatických regulací hoření“ zmiňovaných v kapitole (3.1). Tyto kontakty slouží k zadání povelu jednotce, že došlo k otevření dvířek a přiložení paliva.

Konektor PROG.

Tento konektor slouží pro nahrání programu (soubor *.hex) do mikrokontroleru. Programování se provádí pomocí programátoru *PICKit 3* v prostředí *MPLAB* od firmy *Microchip*.

Konektor PIEZO

Konektor *PIEZO* je opět prozatím záložní konektor pro možné připojení piezoreproduktoru, který by byl využit pro akustickou signalizaci.

Slot pro Micro SD kartu

Tento slot byl na desku osazen se záměrem ukládání měřených teplot do paměti. Což by mohlo být v budoucnu efektivní při ověřování kvality regulace nebo hledání nejlepšího algoritmu pro regulaci. Tato periferie je opět určena pouze pro budoucí úpravu jednotky.

7.3.2 Volba teplotních čidel

7.3.2.1 Teplotní čidlo TMP 36GT9Z

DPS je připravena na připojení dvou teplotních čidel typu *TMP 36GT9Z*, které slouží na měření teploty v místnosti a na měření teploty spalín. Při měření teploty spalín je potřeba mít na paměti, že měřicí rozsah čidla je $-40 \div 125^{\circ}\text{C}$ a je tedy potřeba jej umístit co nejdále od kamen.

Čidla jsou napájena ze zdroje 3,3V. Výstupem z čidla je napětí 0 - 3,3V, které přivádíme na A/D převodník mikrokontroléru.

7.3.2.2 Teplotní čidlo PT 100

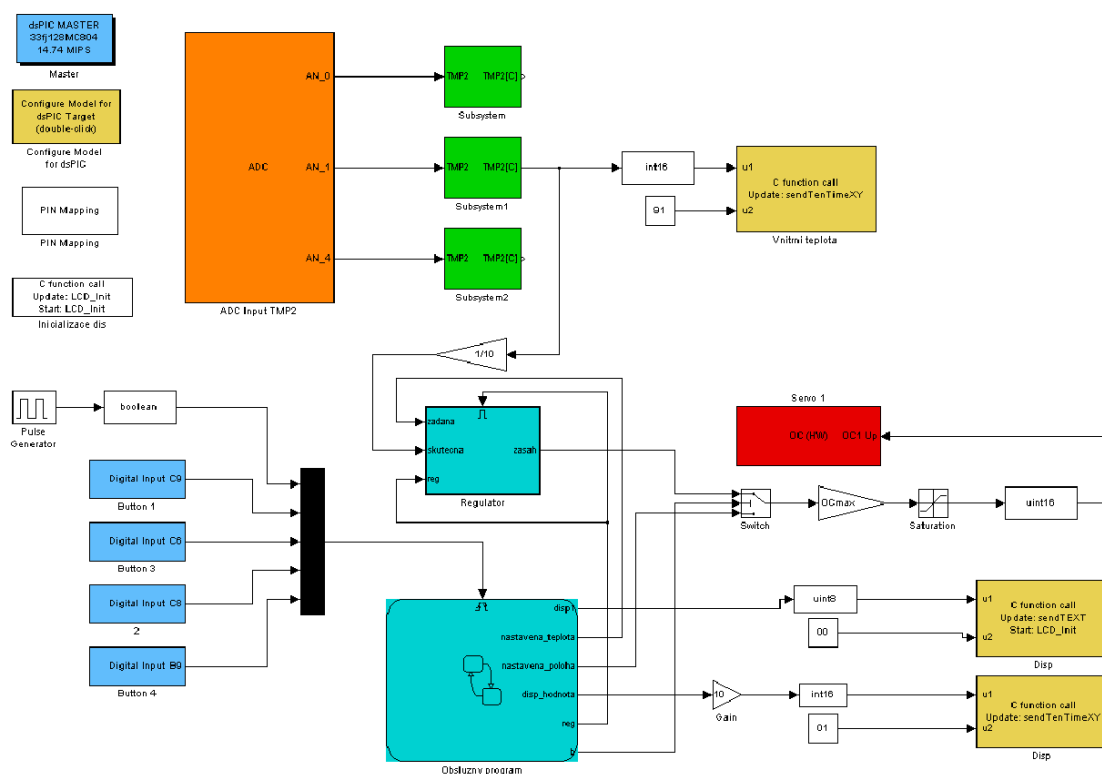
Pro měření teploty spalín vyšších než je teplota 125°C , což je maximální měřitelná teplota pro čidlo *TMP 36GT9Z*, je deska připravena pro připojení čidla *PT 100*. K tomuto čidlu je však potřeba zapojení, pro úpravu signálu pro A/D převodník mikrokontroléru, viz. příloha (*Ridici_jednotka_s_uC.sch*).

7.4 Cíl regulace

V kapitole (4.3) jsme na matematickém modelu prováděli regulaci, přičemž našim cílem bylo udržovat hodnotu tahu komína na konstantní hodnotě. Cílem naší řídicí jednotky však nebude regulace tahu komína, ale regulace teploty místnosti na požadované hodnotě. Pomocí teplotního čidla (TMP1) tedy budeme sledovat aktuální teplotu v místnosti. A pomocí regulovaného přívodu vzduchu do komína se budeme snažit měřenou teplotu v místnosti udržovat na požadované hodnotě. Algoritmus regulace bude obdobný jako v kapitole (4.2). Budeme sledovat rozdíl mezi požadovanou a skutečnou regulovanou veličinou (teplota v místnosti) a v konstantních časových odstupech budeme provádět regulační zásah (natočení klapky) po konstantních krocích.

7.5 Popis programu pro mikrokontroler

Na obrázku (obr.16) lze vidět kompletní model programu pro mikrokontrolér vytvořený v prostředí *Simulink* s využitím nástroje *Kerhuel Toolbox*.



Obr.19: Model pro vytvoření programu pro mikrokontrolér

7.5.1 Popis nejdůležitějších konfiguračních bloků

Blok „Master“ – Blok Master je nejdůležitějším blokem celého modelu. V tomto bloku se nastavuje především cílový mikrokontrolér, v našem případě *dsPIC33fj128mc804*, dále se v tomto bloku nastavuje použití interního nebo externího oscilátoru a jeho frekvence a dále také nastavení funkce *PLL* (phase-locked loop), která umožňuje zadat požadovaný počet instrukcí za sekundu.

Blok „PIN Mapping“ – Tento blok slouží pro nastavení remapovatelných pinů (remappable peripherals), to jsou piny u kterých je možno nastavit určitý druh periferie (např. Output Compare - PWM, UART, SPI). V našem případě pomocí tohoto bloku nastavujeme pin *rp15* na použití periferie *Output Compare* (generování PWM signálu).

Blok „C function call“ – Tento blok slouží k funkci psané v kódu C. V případě, že potřebujeme volat funkci, která v Kerhuel Toolboxu není, je potřeba si tuto funkci napsat přímo v kódu C. Pomocí Kerhuel Toolboxu pak pouze měníme vstupní parametry této funkce. V našem případě pomocí tohoto bloku pracujeme s funkcí pro ovládání LCD displeje. Tato funkce byla použita z práce[8].

Blok „Digital input“ – Tento blok slouží ke čtení logické hodnoty na digitálním vstupním pinu mikrokontroleru. V našem modelu tyto bloky slouží pro čtení logických hodnot na pinech, ke kterým jsou připojena tlačítka.

Blok „ADC Input“ – Výstupem tohoto bloku je číslo z analogově - digitálního převodu. V bloku je potřeba nastavit o jaký typ A/D převodníku se jedná. U našeho mikrokontroléru je možnost použít buďto 10-bitového nebo 12-ti převodníku. My budeme využívat převodníku 12-ti bitového, v tom případě bude hodnota čísla z převodníku nabývat hodnot 0 - 2^{12} .

Blok „Output Compare“ – Tento blok slouží pro generování PWM signálu. Pokud vložíme tento blok do modelu a přiřadíme tomuto bloku některý z remapovatelných pinů, objeví se nám ve „Workspace“ proměnná „OCmax“ pokud na vstup bloku „Output Compare“ přivádíme číslo s hodnotou 0 – „OCmax“ bude na nastaveném pinu střída 0-1.

7.6 Funkce a ovládání řídicí jednotky

Naprogramovaná jednotka má dvě základní funkce a to sice možnost regulace teploty v místnosti, nebo ruční ovládání polohy klapky. Při vytváření algoritmu funkce a ovládání byl kladen důraz především na bezpečnost. Po restartu jednotky dojde klapka do polohy „Úplně zavřeno“ to znamená, že nedochází k žádnému přívodu sekundárního vzduchu do komína, tato varianta byla zvolena z hlediska bezpečnosti. V případě, že je klapka v poloze „Úplně

otevřeno“ znamená to, že dochází k maximálnímu přívodu sekundárního vzduchu do komína.

Tlačítkem „Set“ měníme možnost zvolené funkce jednotky. Při stisku tohoto tlačítka se na displeji zobrazuje nápis „*Rucni ovladani*“, nebo „*Regulace*“ pro zvolení dané funkce je potřeba stisknutí tlačítka „OK“ pro potvrzení dané funkce.

V případě, že zvolíme funkci „*Rucni ovladani*“, zobrazí se na displeji nápis „Nastavení polohy“, tlačítky „Plus“ nebo „Minus“ můžeme měnit polohu klapky z hodnoty „Úplně zavřeno“ (na displeji je zobrazena hodnota „0“) po hodnotu „Úplně otevřeno“ (na displeji zobrazena hodnota „100“). Pro potvrzení, stiskneme tlačítko „OK“, na displeji se na dobu 2s zobrazí nápis „*Poloha nastavena*“ a teprve poté dojde k nastavení žádané polohy.

V případě, že zvolíme funkci „*Regulace*“, zobrazí se na displeji nápis „*Nastaveni teploty*“. Tlačítka „Plus“ nebo „Minus“ zvolíme požadovanou teplotu, tu je možno volit s krokem 0,5°C. Pro potvrzení je opět potřeba stisk tlačítka „OK“, po potvrzení se na displeji na 2s zobrazí nápis „*Teplota nastavena*“. Poté dojde k aktivaci regulátoru. Ten je nastaven tak, že s časovým krokem 200s kontroluje rozdíl mezi žádanou a skutečnou teplotou a v případě potřeby dojde k natočení klapky o 10%.

Při přechodu z jedné funkce do druhé (z funkce „*Regulace*“ do funkce „*Rucni ovladani*“, nebo naopak) dochází z hlediska bezpečnosti k natočení klapky do polohy „Úplně zavřeno“.

V případě, že chceme změnit žádanou hodnotu (polohu nebo teplotu), v rámci jedné funkce, nová poloha klapky plynule navazuje na hodnotu předchozí.

Na displeji je neustále zobrazována aktuální teplota místnosti (čidlo TMP1).

8 Závěr

Hlavním cílem práce bylo navržení a realizace výroby řídicí jednotky pro optimální spalování v krbových kamnech. Tento cíl byl splněn a výsledkem je řídicí jednotka vybavená řadou doplňkových periférií (např. slot pro SD kartu, dveřní kontakt).

Co se týče obsahové náplně této práce, postupovalo se postupně od jednodušších ke složitějším tématům. Počáteční část této práce byla spíše rešeršního charakteru. Uvedli jsme si princip komínového tahu a možnosti regulace tahu komína.

Následně byly stručně vysvětleny základní vztahy termomechaniky, přesněji řečeno jsme se zabývali teoriemi sdílení tepla a to konkrétně sdílením tepla vedením a konvekcí. Uvedli jsme si, že existuje určitá fyzikální souvislost mezi tepelnými procesy a elektrickými obvody, díky tomu se při tepelných výpočtech využívají znalosti a principy elektrotechniky.

Poté jsme si vysvětlili také základní vztahy hydromechaniky. Zaměřili jsme se na proudění tekutin. A opět jsme si uvedli možnost využití znalostí z elektrotechniky.

Poměrně složitějším problémem už byla kapitola „matematický model tahu komína“. Přesvědčili jsme se o tom, že pro sestavení kompletního modelu je potřeba poměrně velkého množství rovnic. Většinu potřebných znalostí jsme si ale uvedli v rešeršní části.

Po sestavení matematického modelu jsme se dostali k realizaci návrhu a výroby řídicí jednotky regulační klapky. Nejprve byla sestavena poměrně jednoduchá řídicí jednotka, která by měla provádět regulaci tahu komína na základě přivírání škrtící klapky v komíně a to v závislosti na rostoucí teplotě spalin. Je však nutno dodat, že tato jednotka nebyla nakonec aplikována na skutečný komín. Byla pouze testována její reakce na změnu teploty v mechatronické laboratoři. Testování bylo prováděno pomocí výukového modelu tepelná komora, který sloužil jako zdroj tepla pro zahřívání teplotních čidel (simulovali jsme teplotu spalin v komíně).

V poslední části práce jsme se zabývali hlavním cílem této práce a to sice realizací návrhu a následné výroby řídicí jednotky řízené mikrokontrolérem, konkrétně mikrokontrolérem dsPIC. Při návrhu byl kladen důraz především na hardwarovou část a to z toho důvodu aby byla možnost tuto jednotku s postupem času dále rozvíjet.

9 Seznam použitých zdrojů

- [1] Vlach, Radek: *Tepelné procesy v mechatronických soustavách*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 94 s. ISBN 978-8-0214-3976-4.
- [2] Noskievič, P.: *Modelování a identifikace systémů*. 1. vyd. Ostrava: Montanex, 1999, 276 s. ISBN 80-7225-030-2.
- [3] Idelčik, I.E.: *Handbook of Hydraulic Resistance*, 3rd Edition, New York, US, 2006, 816 s. ISBN 978-8-1799-2118-0.
- [4] Jelínek, V. , Vanko, R.: *Komínová technika*. 2. vyd. Praha: KOMTEC, 2000, 190 s. ISBN 80-238-5944-7
- [5] Jiřík, František: *Komíny*. 2. vyd. Praha: Grada, 2004, 141 s. ISBN 80-247-0877-9
- [6] Jícha, Miroslav: *Přenos tepla a látky*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001, 160 s. ISBN 80-214-2029-4
- [7] Klimeš, D.: *Generování kódu pro mikrokontroléry pomocí automatických nástrojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011, 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Vejlupek
- [8] Nejedlík, T.: *Úprava dálkového ovládání pro Car4*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012, 33 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Vejlupek
- [9] BANADOR: *Jak si poradit s nízkým nebo příliš vysokým komínovým tahem?* [online]. 2013, Dostupné z: <http://www.banador.cz/> (20. 4. 2013)
- [10] Dropník, Tomáš: *Regulace komínového tahu*. [online]. 2008, Dostupné z: <http://www.techpark.sk/> (21. 4. 2013)
- [11] Timpex: *Automatická regulace hoření pro krby a kamna*. [online]. 2010, Dostupné z: <http://www.timpex.cz/> (25. 4. 2013)
- [12] ServoCity: *HS-322HD Standard Deluxe*. [online]. 2013, Dostupné z: <http://www.servocity.com/> (15. 5. 2013)
- [13] Pandatron: *555 a 556 – Základní zapojení*. [online]. 2013, Dostupné z: <http://pandatron.cz/> (11. 12. 2012)

10 Seznam použitých zkratek a symbolů

α	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel přestupu tepla
$\alpha_{s,w}$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel přestupu tepla: spaliny – stěny komína
$\alpha_{w,xin}$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel přestupu tepla: stěny komína – okolní vzduch komína
δ	$[m]$	šířka stěny
ξ	$[-]$	součinitel místní ztráty
ξ_0	$[-]$	součinitel místní ztráty - komín
ξ_1	$[-]$	součinitel místní ztráty - kouřovod
ξ_2	$[-]$	součinitel místní ztráty - potrubí přívodu sekundárního vzduchu
λ	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti
λ_w	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti stěny komína
λ_0	$[-]$	součinitel ztráty třením v komíně
λ_1	$[-]$	součinitel ztráty třením v kouřovodu
λ_2	$[-]$	součinitel ztráty třením v potrubí přívodu sek. vzduchu
ρ	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota
ρ_0	$[kg \cdot m^{-3}]$	střední výpočtová hustota
ρ_1	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota spalin v kouřovodu
ρ_s	$[kg \cdot m^{-3}]$	střední hustota spalin v komíně
ρ_w	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota zdiva komína
ρ_{xout}	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota venkovního vzduchu
ν	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	kinematická viskozita
B_0	$[m]$	šířka venkovní stěny komína
c_{p0}	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	střední výpočtová měrná tepelná kapacita
c_w	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita zdiva komína
D	$[m]$	průměr
D_0	$[m]$	průměr potrubí komína
D_1	$[m]$	průměr potrubí kouřovodu
D_2	$[m]$	průměr potrubí přívodu sekundárního vzduchu
g	$[m \cdot s^{-2}]$	gravitační zrychlení
H	$[Pa]$	tlakový zdroj
H_0	$[m]$	účinná výška komína
K	$[N \cdot s^2 \cdot m^{-8}]$	hydraulický odpor
K_0	$[N \cdot s^2 \cdot m^{-8}]$	hydraulický odpor potrubí komína
K_1	$[N \cdot s^2 \cdot m^{-8}]$	hydraulický odpor kouřovodu
K_2	$[N \cdot s^2 \cdot m^{-8}]$	hydraulický odpor potrubí přívodu sekundárního vzduchu
K_p	$[N \cdot s^2 \cdot m^{-8}]$	výsledný hydraulický odpor paralelně řazených odporů
$K_{p1,2}$	$[N \cdot s^2 \cdot m^{-8}]$	výsledný hydraulický odpor paralelně řazených odporů K_1 a K_2
K_{pi}	$[N \cdot s^2 \cdot m^{-8}]$	i-tý odpor při paralelním řazení
K_s	$[N \cdot s^2 \cdot m^{-8}]$	výsledná hydraulický odpor sériově řazených odporů
K_{si}	$[N \cdot s^2 \cdot m^{-8}]$	i-tý odpor při seriovém řazení
L	$[m]$	délka
L_0	$[m]$	vzdálenost viz. (obr.7)
L_1	$[m]$	délka potrubí kouřovodu
L_2	$[m]$	délka potrubí sekundárního vzduchu
$P_{čin}$	$[Pa]$	činný tah komína

P_{stat}	[Pa]	statický tah komína
P_{ztr}	[Pa]	tlaková ztráta
ΔP	[Pa]	rozdíl tlaků
ΔP_z	[Pa]	úbytek tlaku
q	[m ³ .s ⁻¹]	objemový průtok
q_0	[m ³ .s ⁻¹]	objemový průtok komínem
q_1	[m ³ .s ⁻¹]	objemový průtok kouřovodem
q_2	[m ³ .s ⁻¹]	objemový průtok potrubím sekundárního vzduchu
q_i	[m ³ .s ⁻¹]	dílčí objemový průtok
\dot{q}	[W.m ⁻²]	měrný tepelný tok
\dot{Q}	[W]	tepelný tok
\dot{Q}_1	[W]	tepelná energie v proudu spalin v kouřovodu
\dot{Q}_2	[W]	tepelná energie v proudu sekundárního vzduchu
\dot{Q}_{k1}	[W]	tepelný tok konvekcí ze spalin do vnitřní stěny komína
\dot{Q}_{k2}	[W]	tepelný tok konvekcí z venkovní stěny komína do okolí komína
\dot{Q}_v	[W]	tepelný tok vedením stěnou komína
r_0	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	střední výpočtová měrná plynová konstanta
R_α	[m.K.W ⁻¹]	tepelný odpor při konvekcí
R_λ	[m.K.W ⁻¹]	tepelný odpor proti vedení tepla
$R_{\lambda w}$	[m.K.W ⁻¹]	tepelný odpor stěny komína
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
S	[m ²]	plocha
S_0	[m ²]	průřez potrubí komína
S_1	[m ²]	průřez potrubí kouřovodu
S_2	[m ²]	průřez potrubí přívodu sekundárního vzduchu
S_{w1}	[m ²]	plocha vnitřních stěn komína
S_{w2}	[m ²]	plocha vnějších stěn komína
T	[K]	termodynamická teplota
ΔT	[K]	rozdíl teplot (teplotní spád)
T_1	[K]	teplota spalin v kouřovodu
T_∞	[K]	teplota prostředí
T_s	[K]	střední teplota spalin v komíně
T_w	[K]	teplota obtékaného povrchu
T_{w1}	[K]	teplota vnitřní stěny komína
T_{w2}	[K]	teplota vnější stěny komína
T_{xin}	[K]	teplota vzduchu v okolí komína
T_{xout}	[K]	teplota venkovního vzduchu
V_0	[m ³]	vnitřní objem komína
v_s	[m.s ⁻¹]	střední rychlost proudění
V_w	[m ³]	objem zdiva komína

11 Seznam příloh

Na přiloženém CD se nacházejí následující soubory:

2013_BP_Toman_Marek_125804.pdf

Vlastní text práce

Komin_mfile.m

m – file s potřebnými proměnnými pro Simulaci tahu komína

Komin_model.mdl

Model tahu komína v prostředí Simulink

Ridici_jednotka_s_uC.sch

Schéma řídicí jednotky s mikrokontrolérem v prostředí eagle

Ridici_jednotka_s_uC.brd

Deska plošných spojů řídicí jednotky s mikrokontrolérem

Ridici_jednotka_bez_uC.sch

Schéma řídicí jednotky bez mikrokontroléru v prostředí Eagle

dsPIC_program.mdl

Model v prostředí Simulink pro generování kódu pro mikrokontrolér

dsPIC_program.hex

Program pro mikrokontrolér

delay.h

lcd.c

LCD.H

Programy potřebné pro funkci LCD displeje